



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 39 568 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 M 10/42**  
G 01 R 31/36  
H 02 J 7/00  
B 60 R 16/04

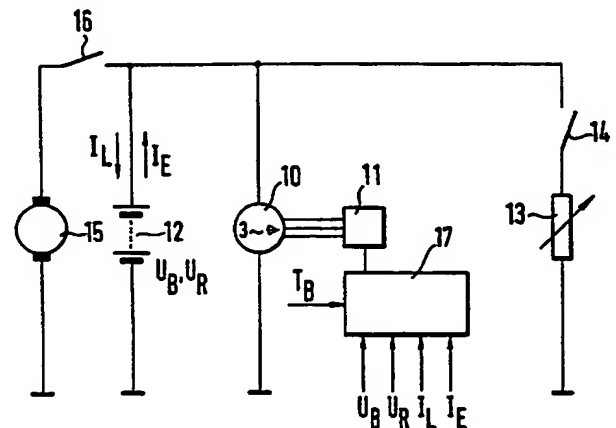
⑳ Aktenzeichen: P 43 39 568.6  
㉑ Anmeldetag: 19. 11. 93  
㉒ Offenlegungstag: 24. 5. 95

㉓ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉔ Erfinder:  
Richter, Gerolf, Dipl.-Ing. Dr., 3200 Hildesheim, DE

㉕ Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes einer Batterie, insbesondere einer Fahrzeug-Starterbatterie

㉖ Es wird ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes einer Batterie angegeben, beispielsweise der Fahrzeugstarterbatterie, bei dem eine Ladebilanz durch Auswertung des Lade- und des Entladestromes durchgeführt wird. Diese Ladebilanz wird mit Hilfe der gemessenen Batterieruhspeispannung überprüft und korrigiert. In Abhängigkeit von weiteren Größen, beispielsweise der Batterietemperatur wird ein Zeitintervall ermittelt, das erkennen läßt, wie lange die Batterie unter den gegebenen Bedingungen noch einen akzeptablen Entladestrom liefern kann. Dieses Zeitintervall wird mit Hilfe geeigneter Korrekturfunktionen optimiert, es dient als Maß für den vorliegenden Ladezustand der Batterie.



E 43 39 568 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

5 Die Batterie in einem Kraftfahrzeug, die zur Versorgung der elektrischen Systeme und besonders auch zur Versorgung des Starters dient, wird mit Hilfe eines vom Motor angetriebenen Drehstromgenerators, dessen Ausgangsspannung in geeigneter Weise geregelt wird, geladen. Da die Batterie eine Vielzahl von Verbrauchern versorgen muß, kann unter ungünstigen Betriebsbedingungen, beispielsweise bei tiefen Temperaturen und  
 10 ungünstigen Fahrverhältnissen die Batterie soweit entladen werden, daß eine zuverlässige Spannungsversorgung nicht mehr gewährleistet ist. Besonders der Start des Motors kann in diesem Fall problematisch werden, da der Anlasser eine beträchtliche elektrische Energie benötigt.

Es ist daher bekannt, den noch verfügbaren Energieinhalt der Batterie zu ermitteln. Dazu sind mehrere unterschiedliche Methoden durchgeführt worden, eine dieser Methoden besteht in der meßtechnischen Ermittlung der elektrochemischen Batteriezustandsgröße Säuredichte und der sich daraus ableitenden Ruhespannung.  
 15 Diese Methode ist jedoch unzuverlässig, da bei einer in Betrieb befindlichen Batterie Diffusionsausgleichzeiten und Temperaturänderungen berücksichtigt werden müßten.

Eine weitere Methode, die jedoch nur im stationären Zustand brauchbar ist, besteht darin, den Innenwiderstand der Batterie zu bestimmen, der als Maß für den Ladezustand dienen kann. Der Innenwiderstand kann dabei  
 20 durch die Beobachtung der Klemmenspannung der Batterie während der Beaufschlagung mit einem Belastungsimpuls ermittelt werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Ladezustand einer Batterie, beispielsweise der Starterbatterie eines Kraftfahrzeuges zu ermitteln, indem fortlaufend der Batteriestrom gemessen wird und daraus durch Integrieren über der Zeit die der Batterie entnommene Ladung ermittelt wird. Diese Vorgehensweise wird in der  
 25 DE-OS 35 20 985 beschrieben. Gemäß dem dabei beschriebenen Verfahren wird zusätzlich nach Abschalten des Fahrzeugmotors die Batteriespannung gemessen und aus dem Absinken gegenüber der Spannung bei vollgeladener Batterie und der für den stromlosen Zustand errechneten entnommenen Ladung eine fiktive Batteriekapazität berechnet. Aus dieser fiktiven Batteriekapazität wird dann der Ladezustand ermittelt.

Diese Methode ist jedoch immer noch nicht zuverlässig genug, da alle Batteriesysteme die unangenehme  
 30 Eigenschaft besitzen, daß die Kapazitätsänderung und damit die noch zur Verfügung stehende Restkapazität bezogen auf eine definierte Entladeschlußspannung im stärkeren Maße von einer Vielzahl von Größen abhängt. Diese Größen sind beispielsweise die Größe des entnommenen bzw. zugeführten Stromes, die Temperatur, das Batteriealter sowie der bereits eingetretene Batterieladestatus.

## 35 Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß eine sehr zuverlässige Aussage über den vorliegenden Ladezustand der Batterie möglich ist.

Erzielt wird dieser Vorteil, indem eine genaue Bilanzierung des entnommenen sowie des zugeführten Stromes durchgeführt wird und Korrekturen durchgeführt werden, die die Stärke des Stromes, die Temperatur sowie das  
 40 Batteriealter berücksichtigen. Besonders vorteilhaft ist, daß die Korrekturen mit Hilfe geeigneter Funktionen in einer Recheneinrichtung durchführbar sind. Dabei wird eine Zeitspanne ermittelt, die eine genaue Aussage bezüglich des Batterieladezustandes darstellt. Diese Zeitspanne gibt an, wie lange die Batterie noch einen vorgebbaren Strom liefern kann.

45 Weitere Vorteile der Erfindung werden mit Hilfe der in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen erzielt.

Eine vorteilhafte Maßnahme besteht darin, die Zeitspanne, die den Ladezustand der Batterie charakterisiert, als Basis zur Regelung des Generators heranzuziehen. Es kann weiterhin in vorteilhafter Weise eine Anzeige erfolgen, wenn die ermittelte Zeit unter einen in geeigneter Weise festlegbaren Schwellwert sinkt und beispiels-  
 50 weise anzuzeigen, wenn die noch vorhandene Batterieladung nicht mehr für eine bestimmte Mindestanzahl von Startversuchen ausreicht.

## Zeichnung

55 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es ist dabei in der einzigen Figur ein Fahrzeugbordnetz mit den erfindungswesentlichen Größen schematisch dargestellt.

## Beschreibung des Ausführungsbeispiels

60 Das in der Figur dargestellte Fahrzeugbordnetz umfaßt einen Generator 10, dessen Ausgangsspannung vom Spannungsregler 11 geregelt wird, eine Batterie 12, die vom Generator geladen wird sowie die eigentlichen Bordnetzverbraucher 13, die über Schaltmittel 14 an die Versorgungsspannung gelegt werden können.

Mit 15 ist der Starter bezeichnet, der über den Zündschalter 16 mit der Batterie verbindbar ist. Mit 17 ist eine  
 65 Recheneinrichtung, beispielsweise eine integrierte Schaltung oder ein Steuergerät bezeichnet, dem verschiedene Informationen zugeführt werden und in dem das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes der Batterie 12 abläuft.

Als der Recheneinrichtung 17 zugeführte Größen sind angegeben: Die Batteriespannung  $U_B$ , die Ruhespan-

nung  $U_R$ , der Ladestrom  $I_L$ , der Entladestrom  $I_E$  sowie die Temperatur der Batterie  $T_B$ .

Die erwähnten Größen werden mit Hilfe geeigneter Schaltungen bzw. geeigneter Sensoren gemessen. Der Zeitpunkt und die Dauer der Messung wird von der Recheneinrichtung 17 selbst festgelegt. Die Recheneinrichtung 17 umfaßt geeignete Mittel zur Abspeicherung von Daten sowie geeignete Mittel zur Messung von Zeiten.

In der Recheneinrichtung 17 läuft die eigentliche Batterie-Ladezustandsermittlung ab. Es wird dabei ausgehend von einer Strombilanzierung also von der Betrachtung der in die Batterie fließenden Ladeströme und der aus der Batterie fließenden Entladeströme eine Ladezustandsermittlung durchgeführt, wobei zusätzliche Modell- bzw. Korrekturfunktionen berücksichtigt werden. Die gefundenen Ergebnisse werden weiterhin mit Hilfe der nach langen Unterbrechungen ermittelten Ruhespannung der Batterie korrigiert.

Die im folgenden beschriebene Batterie-Ladezustandsermittlung gilt insbesondere für das Modell einer wartungsfreien Blei/Säurestarterbatterie in einem Kraftfahrzeug mit etwa identischen Plattenabmessungen und einer genormten Säuredichte, so daß der Wasserverbrauch während der mittleren zu erwartenden Lebensdauer vernachlässigbar gering ist und nicht zu Ungenauigkeiten bei der Ladezustandsermittlung führt.

Der zu berücksichtigende Alterungsprozeß ist im wesentlichen vom Alter der Batterie und von der Temperatur abhängig, denn unter normalen Bedingungen die für eine in einem Kraftfahrzeug eingebaute Batterie gelten, verschleißt die Batterie fast unabhängig von der Fahrerleistung bzw. der Häufigkeit der Startversuche. Der Einfluß der mittleren Betriebstemperatur, der nicht zu vernachlässigen ist, wird empirisch erfaßt. Damit das Verfahren zur Ladezustandsbestimmung ablaufen kann, sind verschiedene Messungen erforderlich. Es werden daher im Betriebsfall die Ladeströme  $I_L$  bzw. die Entladeströme  $I_E$  beispielsweise mittels einer Stromzange gemessen, wobei diese Messungen innerhalb von Zeitintervallen, die beispielsweise nur Sekundenbruchteile dauern, erfolgen.

Während längerer Ruhepausen wird die Ruhespannung  $U_R$  der Batterie 12 gemessen. Für die Messung der Batteriespannung  $U_B$  sind heute geläufige Schaltungen einsetzbar. Die Messung der Batterietemperatur  $T_B$  erfolgt laufend, sie wird einerseits zur Ruhespannungskorrektur benötigt und andererseits zur Ermittlung der aktuell doch zur Verfügung stehenden Kapazität und zur Beschreibung des Batteriealters.

Die Meßergebnisse werden über geeignete Verbindungen zur Recheneinrichtung 17 geführt. Sie sind dort zwischenspeicherbar und stehen der Recheneinrichtung 17 zur Auswertung zur Verfügung.

Die Verknüpfung zwischen den gemessenen Größen und den Korrekturmaßnahmen läßt sich folgendermaßen darstellen:

### 1. Entladen

Im Zeitintervall  $t_{Ei}$  wird der Entladestrom  $I_E$  gemessen. Da der mittlere Entladestrom für einen PKW etwa der dreistündige Strom  $I_{3E}$  ist (Strom, bei dem nach dreistündiger Entladezeit bei Raumtemperatur eine Entladeschlussspannung von  $U = 10,5$  V erreicht wird), gilt als Bezugsgröße auch die Kapazität  $K_3$ . Der Index 3 steht für dreistündig. Als batterietypische Eingangsgröße muß deshalb auch  $I_{3E0}$  zur Verfügung stehen, der Index 0 steht für "neue Batterie". Der Strom  $I_{3E0}$  wird bei neuer Batterie gemessen. Für eine ideale Batterie gilt demzufolge im iten Meßintervall:

$$\Delta t_{3i} \cdot I_{3E} = \Delta t_{Ei} \cdot I_E$$

bzw. für die, von der noch zur Verfügung stehenden dreistündigen Restzeit  $t_{3i}$ , "abgebaute" Zeit gilt:

$$\Delta t_{3i} = \Delta t_{Ei} \cdot \frac{I_E}{I_{3E}}$$

Wie bereits erwähnt, muß dieses Zeitintervall für alle realen Batterie-Systeme eine Korrektur erfahren.

Im Falle der Blei/Säure-Batterie haben sich die empirischen Gleichungen nach Peukert oder Liebenow bewährt. Die folgenden Gleichungen zeigen den Einfluß dieser Korrekturen.

a) Nach Peukert gilt:

$$\Delta t_{3i} = \Delta t_{Ei} \cdot \frac{I_E}{I_{3E}} \left( \frac{I_E}{I_{3E}} \right)^{n_E}$$

mit:  $n_E \approx 0,2$  für eine Starter-Batterie.

b) Nach Liebenow gilt:

$$\Delta t_{3i} = \Delta t_{Ei} * \frac{I_E}{I_{3E}} (1 + \delta * I_{Ei} \sqrt{\Delta t_{Ei}})$$

für  $I_E > I_{3E}$ .

Die Peukert-Korrektur zeigt eine besonders gute Übereinstimmung mit Meßwerten für mittlere Entladeströme, wo hingegen die Liebenow-Gleichung eine befriedigende Näherung über den gesamten möglichen Entladestrombereich mit obiger Einschränkung gewährleistet.

## 2. Laden

Der Ladegewinn einer Starter-Batterie im Intervall  $\Delta t_{Li}$  muß mit einem vom Ladestatus abhängigen Ladewirkungsgrad  $\eta_L$  multipliziert werden. Da Ladestrom irreversibel nur durch Gasung verlorengehen kann, ist für moderne, wartungsfreie Batterien  $\eta_L = 1$  zu setzen, insbesondere, wenn eine periodische Ruhespannungskontrolle, bei der die Spannung  $U_R$  gemessen wird, erfolgt. Damit ergibt sich für den Gewinn an dreistündiger Entladezeit im Meßintervall:

$$\Delta t_{3i} = \Delta t_{Li} * \frac{I_L}{I_{3L}}$$

## 3. Bilanz von Laden und Entladen

Die aktuelle (im  $i$ ten Intervall) zur Verfügung stehende Zeit  $t_{3i}$  bei Entladung mit Strom  $I_{3E}$  unter Normalbedingungen (Raumtemperatur) bis zur Entladeschlußspannung von 10,5 V beträgt

$$t_{3i} = t_3 + \sum \Delta t_{3i} (\text{Laden } +, \text{Entladen } -)$$

mit  $t_3 = 3 \text{ h}$  und  $0 \leq t_{3i} \leq t_3$ .

## 4. Berücksichtigung des Batteriealters und der durchschnittlichen Temperaturbelastung

Die für eine neue Batterie charakteristische Eingabegröße für das Rechenprogramm ist der dreistündige Entladestrom  $I_{3EO}$ . Laborexperimente sowie durchgeführte Fahrversuche haben gezeigt, daß sich dieser Wert, abhängig vom Batteriealter und der durchschnittlichen Temperaturbelastung, kontinuierlich verringert und zum Zeitpunkt (Alter)  $t$  den Betrag von  $I_{3E}$  aufweist. Es gilt mit guter Übereinstimmung

$$I_{3E} = I_{3EO} [\beta + (1 - \beta) e^{-t/\tau}]$$

mit  $\beta = 0,5$  als unterste Grenze für einen erfolgreichen Kaltstart.

Die Zeitkonstante für den Alterungsprozeß ist in erster Linie temperaturabhängig, bedingt durch die Korrosion der positiven Gitter. Dieser Vorgang ist gut mit folgendem Zusammenhang zu beschreiben

$$\tau = \tau_0 \cdot 2^{-(T-20^\circ\text{C})/10^\circ\text{C}}$$

und  $\tau_0 \approx 2 \text{ Jahre}$ .

Unter diesen gegebenen Voraussetzungen muß die Änderung von  $I_{3E}$  innerhalb des Zeitintervalls  $\Delta t_i$  ermittelt werden.

Es ergibt sich zum Zeitpunkt  $t = \Delta t_i$  eine dimensionslose Zeit

$$t^* = \frac{\sum \Delta t_i}{\tau_i}$$

und damit für

$$I_{3E} = -I_{3EO} \frac{\Delta t_i}{\tau_i} (1-\beta) e^{-t^*}$$

5

$$\sum_{j=1}^1 \tau_j$$

10

mit:  $r_i = \frac{1}{i}$

15

Somit erhält man als Berechnungsgleichung für das aktuelle  $I_{3E}$

$$I_{3E} = I_{3EO} - \sum I_{3EO} \frac{\Delta t_i}{\tau_i} (1-\beta) e^{-t^*}$$

20

Der so gewonnene dreistündige Strom repräsentiert die altersabhängige entnehmbare dreistündige Kapazität einer vollgeladenen Batterie und ist die Basisgröße in den Gleichungen von Peukert bzw. Liebenow.

25

### 5. Verfügbare Kapazität bei gegebener Elektrolyttemperatur

Wie bereits erwähnt, bezieht sich die "Normalzeit"  $t_{3i}$  auf den Entladungsfall einer Batterie mit einer Elektrolyttemperatur von 25°C. Mit sinkender Temperatur wird allerdings die tatsächlich verfügbare Zeit  $t_{3iv}$  für einen dreistündigen Strom immer geringer.

30

Es hat sich gezeigt, daß die Temperaturabhängigkeit in dem interessierenden Temperaturintervall von -20° bis +40°C in guter Näherung als linear angenommen werden kann. Dies gilt insbesondere für Ströme in der hier betrachteten Größenordnung

35

$$t_{3iv} = t_{3i} [1 + 0,006 (T - 300)] \text{ mit } T \text{ in K.}$$

Diese Zeit würde sich in der Praxis z. B. zur Steuerung bzw. Regelung der Generatorleistung mittels eines entsprechenden Spannungsreglers in einem Pkw-Bordnetz eignen. Die Regelkriterien können dann der Erregerstrom und/oder die Spannung sein.

40

Hinsichtlich diverser Alarmkriterien, wie z. B. für die Information: "Achtung, noch drei Starts unter gegebenen Bedingungen möglich", muß in der Recheneinrichtung ein ständiger Vergleich zwischen einem motor- und starterspezifischen Kennfeld bezüglich erforderlichem Strom und Startzeit mit den entsprechenden Werten aus der Ladezustandsinformation durchgeführt werden.

45

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes einer Batterie, insbesondere einer Fahrzeug-Starterbatterie, bei dem bei Erkennen bestimmter Betriebszustände der Batteriestrom und die Ruhespannung gemessen wird und aus den Meßwerten mittels einer Recheneinrichtung auf den Ladezustand geschlossen wird, wobei die ermittelten Meßgrößen mit Korrekturfunktionen verknüpft werden, die wenigstens abhängig von der Batterietemperatur gebildet werden, dadurch gekennzeichnet, daß der während eines ersten Zeitraumes gemessene Entladestrom und der während eines zweiten Zeitraumes gemessene Ladestrom zueinander in Bezug gesetzt werden zur Ermittlung eines dritten Zeitraumes, der die noch zur Verfügung stehende Restzeit charakterisiert.

50

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung des dritten Zeitraumes die gemessene Ruhespannung zur Ruhespannungskorrektur berücksichtigt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem dritten Zeitraum ein Entladestrom ermittelt wird, wobei berücksichtigt wird, daß der Entladestrom vom dritten Zeitraum exponentiell abhängt.

60

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Alarmmittel ausgelöst werden, wenn die ermittelte Restzeit kleiner ist als ein vorgebbare Schwellwert.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellwert so festgelegt wird, daß noch eine Mindestzahl von Startversuchen durchführbar ist.

65

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem ermittelten dritten Zeitintervall die zur Verfügung stehende Kapazität der Batterie für eine vorgebbare Temperatur berechnet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Restzeit als Grundlage für die Regelung des Generators verwendet wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

